

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2005 年 9 月 29 日 (29.09.2005)

PCT

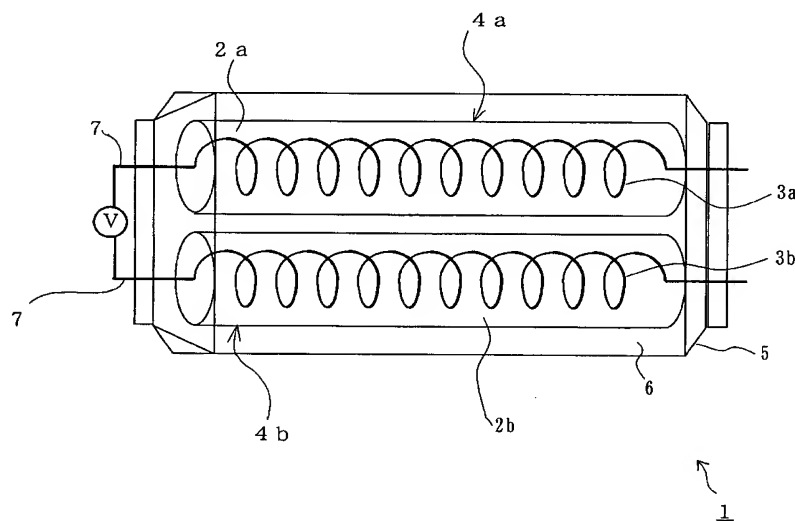
(10) 国際公開番号
WO 2005/091487 A1

- (51) 国際特許分類⁷: H02N 11/00 (72) 発明者; および
(21) 国際出願番号: PCT/JP2005/004164 (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 伊東 秀俊 (ITO, Hidetoshi). 毛塚 浩一郎 (KEZUKA, Koichiro).
(22) 国際出願日: 2005 年 3 月 3 日 (03.03.2005) (74) 代理人: 中村 友之 (NAKAMURA, Tomoyuki); 〒1050001 東京都港区虎ノ門 1 丁目 2 番 8 号 虎ノ門零平タワー 三好内外国特許事務所内 Tokyo (JP).
(25) 国際出願の言語: 日本語
(26) 国際公開の言語: 日本語
(30) 優先権データ:
特願2004-078131 2004 年 3 月 18 日 (18.03.2004) JP (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG,
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): ソニー株式会社 (SONY CORPORATION) [JP/JP]; 〒1410001 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 Tokyo (JP).

[続葉有]

(54) Title: POLYMER ACTUATOR

(54) 発明の名称: 高分子アクチュエータ



(57) Abstract: A polymer actuator that is extensible/shrinkable in a linear direction, being lightweight and that is operable at low voltage. There is provided polymer actuator (1) comprising aqueous solution of electrolyte (6) and, arranged therein, multiple gel/electrode composites (4a,4b), the gel/electrode composites (4a,4b) composed each of polymer gel (2a,2b) containing a polymer having at least either acidic or basic functional group and, accommodated therein, electrode (3a,3b) containing a material capable of electrochemical occlusion and release of hydrogen, wherein the pH values within the polymer gels (2a,2b) of the gel/electrode composites (4a,4b) are changed in accordance with application of voltage between the electrodes (3a,3b) of the multiple gel/electrode composites (4a,4b), so that the gel/electrode composites (4a,4b) undergo respective volume changes in accordance with the changes of pH values.

(57) 要約: 線方向に伸張/収縮することができ、軽量であり、かつ低電圧動作が可能な高分子アクチュエータを提供する。酸性、若しくは塩基性の官能基の、少なくともいずれか一方を有する高分子を含有する高分子ゲル 2 a、2 b と、この高分子ゲルに内設された、電気化学的に水素の吸蔵及び放出が可能な材料を含む電極 3 a、3 b とから構成されてなる、ゲル/電極複合

[続葉有]



WO 2005/091487 A1



SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護
が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA,
SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ,
BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE,
BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

体4 a、4 bの複数個が、電解質水溶液6中に配設されてなり、これら複数のゲル／電極複合体4 a、4 bの、電
極3 a、3 b間に電圧が印加されるに伴って、ゲル／電極複合体における高分子ゲル2 a、2 b内部のpHが変化
し、このpH変化に応じて、ゲル／電極複合体4 a、4 bがそれぞれ体積変化を起こすように構成されている高
分子アクチュエータ1を提供する。

明 細 書

高分子アクチュエータ

5

技術分野

本発明は、高分子アクチュエータに関するものである。

背景技術

10 近年、介護支援、危険作業、エンタテインメント等の様々な方面からロボットが注目されている。これらの用途に適用されるロボットは、動物のように多くの関節（可動部）を有し、複雑な動作を可能とすることが求められる。

この可動部を駆動するアクチュエータとして、従来、磁気回転モーターが用いられているが、構成材料が金属のためにアクチュエータ重量が
15 大きくなってしまいうという欠点を有している。

可動部にアクチュエータを組み込む場合、可動部を動作させる際に、アクチュエータ重量が負荷となるため、重量の大きいアクチュエータを用いるには大出力が求められるようになり、一方においては大出力の
20 アクチュエータは、大型、大重量になってしまうという解決困難な矛盾が生じてしまう。

また、磁気回転モーターを用いる場合、必要な回転数、トルクに調整するための減速器が必要となり、この減速器に用いられるギヤは磨耗により徐々に性能低下するという欠点もある。

25 低速回転で高トルクが得られる超音波モーターは減速器が不要であるが、これも金属材料で構成されるため、重量が大きいため、上記と同様

の問題を生じる。

このため、近年においては、軽量で、かつ柔軟性に富んだ高分子材料によって構成される高分子アクチュエータが注目されている。

この高分子アクチュエータとしては、例えばポリフッ化ビニリデン等
5 を用いた高分子圧電素子、電子導電性高分子等を用いた導電性高分子アクチュエータ、高分子ゲル等を用いたゲルアクチュエータ等が知られている。

上記のゲルアクチュエータ、特に水膨潤高分子ゲルを用いる高分子ハイドロゲルアクチュエータは、高分子ハイドロゲルが、その周囲の温度
10 やイオン強度や、pHといった環境に応答して体積変化することを利用するものである。その変位量は30～50%と大きく、発生力も0.2～0.4MPaであり、生体骨格筋に匹敵する性能を発揮する。

しかしながら、温度は、加熱、冷却ともに高速制御が困難なものであり、またイオン濃度を制御するためには、周囲電界液をポンプ等を用い
15 て強制交換する等の作業が必要になり、これに用いる電解液を蓄えるタンクも必要となることから、小型軽量なシステムとして不向きである。

一方、pH応答性高分子ハイドロゲルを適用する場合においては、pHは周囲溶液の交換で変化させる他、電気化学反応を用いて変化させることが可能とされている。

すなわち、周囲溶液を電解質水溶液とし、水溶液中に配設した電極間
20 に電圧を印加すると、電極反応による水素イオンや水酸化物イオンの消費が起きたり、あるいは電極表面の電気二重層形成に伴う濃度勾配を生じさせたりすることができ、電極近傍のpHを変化させることが可能である。この現象を利用することにより、pH応答性ハイドロゲルを電気
25 により制御、駆動することができる。

上記のようなpH応答性高分子ハイドロゲルは、ゲルを構成する高分

子内に酸性、あるいは塩基性の官能基を有しており、ゲル周囲における水溶液の pH によって膨潤度、ゲル体積が変化するようになされている。

例えば、酸性基を有する pH 応答性高分子ハイドロゲルを用いる場合には、ゲル周囲における水溶液の pH が高いときには、ゲル中の酸性基がプロトンを解離してアニオンとなり、親水性が増すと共に負電荷の分子内、あるいは分子間での反発が働き、ゲルは膨張する。逆に、ゲル周囲における水溶液の pH が低いときには、ゲル中の酸性基は解離せず、さらに酸性基同士で水素結合を形成するなどしてゲルは収縮する。

ここで、上記の酸性基を有する pH 応答性高分子ハイドロゲルに代えて、塩基性基を有する pH 応答性高分子ハイドロゲルを用いる場合には、上記の反応とは逆に、ゲル周囲における水溶液の pH が高いときには、ゲル中の塩基性基がプロトン化してカチオンとなり、親水性が増すと共に正電荷の分子内或いは分子間での反発が働き、ゲルは膨張する。

pH 応答性高分子ハイドロゲルを用いる場合、具体的には、電解質水溶液中に電極を配設して 1 ～ 3 V 程度の電圧を印加すると、電解質水溶液中にイオン濃度勾配が形成され、電極近傍の pH を変化させることが可能であり、この現象を利用することにより、加熱冷却装置、ポンプ、タンク等を必要とせずに、pH 応答性高分子ハイドロゲルの膨張／収縮を、電圧で制御することが可能となる。

この変形を利用してアクチュエータとすることも可能であり、イオン性高分子ハイドロゲル膜の両面に電極を配置し、これら電極間に電圧を印加することで電気化学的に湾曲変位を得るアクチュエータも知られている（例えば、特許文献 1（特公平 7－9 7 9 1 2 号）公報参照。）。

しかしながら、湾曲変位するアクチュエータは、生体骨格筋のように線方向に伸張／収縮するものに比べてロボットの関節等に利用することが難しく、近年においては、生体骨格筋の様に線方向に伸縮するアクチ

ュエータが望まれていた。

これに関しては、例えば電極間隔を広げて、ゲルをいずれか一方の電極に近づけることで、もう一方の電極による影響を避け、ゲルを湾曲させずに膨張（伸張）／収縮させることも可能であるが、ゲルの膨張／収縮を妨げずにゲルを電極近傍に固定することは、技術的に非常に困難であるという問題を有している。

また、電極間に電圧を印加して電極近傍の pH を変化させる場合、水の電気分解反応が起こり、陽極近傍では酸化反応により OH⁻濃度が減少して pH が低下するとともに酸素ガスが発生し、陰極近傍では還元反応により H⁺濃度が減少して pH が上昇するとともに水素ガスが発生する。この場合、電極間に流れる電流を大きくすることで電極から比較的離れた場所まで pH 変化させることが可能であるが、酸素、水素といったガスが発生したり、電解液溶媒である水が消費したりすることは、密閉したアクチュエータ素子を設計する上において問題となる。

そこで、本発明においては、上述したような問題点を解決するべく、湾曲変位することなく、線方向に伸張／収縮することができ、軽量であり、低電圧動作が可能で、かつ、ガス発生や水消費がない、密閉可能な高分子アクチュエータを提供することとした。

20 発明の開示

本発明においては、酸性、若しくは塩基性の官能基の、少なくともいずれか一方を有する高分子を含有する高分子ゲルと、この高分子ゲルに内設された、電気化学的に水素の吸蔵及び放出が可能な材料を含む電極とから構成されてなる、ゲル／電極複合体の複数個が、電解質水溶液中に配設されてなり、この複数のゲル／電極複合体の前記電極間に電圧が印加されるに伴ってゲル／電極複合体における高分子ゲル内部の pH が

変化し、この pH 変化に応じて複数のゲル／電極複合体が、それぞれ体積変化を起こすように構成されている高分子アクチュエータを提供する。

図面の簡単な説明

5 図 1 は、本発明の高分子アクチュエータの一構成例の概略図を示す。

図 2 A は、本発明の高分子アクチュエータの収縮状態における概略断面図を示す。図 2 B は、本発明の高分子アクチュエータの伸張状態における概略断面図を示す。

10 図 3 A は、本発明の高分子アクチュエータを構成するゲル／電極複合体の一例の膨張（伸張）状態における概略斜視図を示す。図 3 B は、本発明の高分子アクチュエータを構成するゲル／電極複合体の一例の収縮状態における概略斜視図を示す。

15 図 4 A は、本発明の高分子アクチュエータを構成するゲル／電極複合体の他の一例の膨張（伸張）状態における概略斜視図を示す。図 4 B は、本発明の高分子アクチュエータを構成するゲル／電極複合体の他の一例の収縮状態における概略斜視図を示す。

発明を実施するための最良の形態

20 以下、本発明の高分子アクチュエータの具体的な実施形態について、図を参照して説明するが、本発明は、以下に示す例に限定されるものではない。

25 ここで、以下においては、本発明の高分子アクチュエータの好適な例として、酸性の官能基を有する高分子を含有した高分子ゲルからなるゲル／電極複合体と、塩基性の官能基を有する高分子を含有した高分子ゲルからなるゲル／電極複合体とを各々一個ずつ有する構成のものについて図を参照して説明するが、本発明は、以下の例に限定されるものでは

ない。図 1 に、本発明の高分子アクチュエータ 1 の概略構成図を示す。

図 1 の高分子アクチュエータ 1 は、酸性の官能基を有する高分子を含有した高分子ハイドロゲル 2 a と、この高分子ハイドロゲル 2 a に内設された電極 3 a とからなる、ゲル／電極複合体（以下、酸性ゲル／電極複合体と称する場合がある。）4 a と、塩基性の官能基を有する高分子を含有した高分子ハイドロゲル 2 b と、この高分子ハイドロゲル 2 b に内設された電極 3 b とからなる、ゲル／電極複合体（以下、塩基性ゲル／電極複合体と称する場合がある。）4 b とを具備する構成を有している。

また、ゲル／電極複合体 4 a 及び 4 b は、密閉容器 5 内に配設されており、ゲル／電極複合体 4 a 及び 4 b の、それぞれの両端から電極 3 a、3 b が取り出されるようになされており、また、容器 5 内には電解質水溶液 6 が充填されている。

なお、ゲル／電極複合体 4 a 及び 4 b は、ほぼ平行に配設されている。

ここで、容器 5 は、ゲル／電極複合体 4 a、4 b の体積変化に追従して伸縮する機能を有している材料よりなるものとすることが望ましい。

ゲル／電極複合体 4 a、4 b の電極 3 a、3 b 間に電圧が印加されるに伴い、高分子ハイドロゲル 2 a、2 b の内部の pH が変化し、この pH 変化に応じてゲル／電極複合体 4 a、4 b の体積変化が起こる。

電極 3 a、3 b を構成する材料は、電気化学的に水素の吸蔵及び放出が可能な材料を含んでいるものとする。

このように、電極構成材料として、電気化学的に水素の吸蔵及び放出が可能な材料を含んでいるものを適用することにより、陽極においては、水素放出が行われることにより、電極近傍の H⁺ 濃度が上昇して pH が低下し、陰極においては、H⁺ の還元吸蔵が行われて電極近傍の H⁺ 濃度が低下して pH が上昇する、というように、水の電気分解反応による

酸素、水素といったガスの発生や水を消費することなしに、高分子ハイドロゲル 2 a、2 b 内部の pH を変化させることが可能となるのである。

上述したような構成の高分子アクチュエータを用いた、膨張、収縮運動について図 2 A 及び図 2 B を参照して説明する。

5 酸性ゲル／電極複合体 4 a における電極 3 a を陽極とし、塩基性ゲル／電極複合体 4 b における電極 3 b を陰極として、1 ～ 3 V の電圧を印加すると、高分子ハイドロゲル 2 a の内部、すなわち陽極 3 a 周辺の pH は低下する。このように pH が低下した場合、酸性ゲル／電極複合体 4 a 中の酸性基は解離せず、さらに酸性基同士で水素結合を形成するな
10 どして、酸性ゲル／電極複合体 4 a は収縮する。一方、1 ～ 3 V の電圧を印加すると、高分子ハイドロゲル 2 b の内部、すなわち陰極 3 b 周辺の pH は上昇する。このように pH が上昇した場合、塩基性ゲル／電極複合体 4 b 中の塩基性基はプロトン化せず、さらに塩基性基同士で水素結合を形成するなどして、塩基性ゲル／電極複合体 4 b は収縮する（図
15 2 A）。

また、電圧印加をやめるか、あるいは、上記とは逆向きの電圧を印加すれば、酸性ゲル／電極複合体 4 a 内部の pH は上昇し、この場合、酸性ゲル／電極複合体 4 a 中の酸性基がプロトンを解離してアニオンとなり、親水性が増すと共に、負電荷の分子内あるいは分子間での反発が働
20 き、酸性ゲル／電極複合体 4 a は膨張する。一方、塩基性ゲル／電極複合体 4 b 内部の pH は低下し、この場合、塩基性ゲル／電極複合体 4 b 中の塩基性基がプロトン化してカチオンとなり、親水性が増すと共に、正電荷の分子内或いは分子間での反発が働き、塩基性ゲル／電極複合体 4 b は膨張する（図 2 B）。

25 上述したように、本発明の高分子アクチュエータ 1 によれば、ゲル／電極複合体 4 a、4 b が、電解質水溶液 6 中に配設されてなり、ゲル／

電極複合体 4 a、4 b の電極 3 a、3 b 間に電圧が印加されるに伴って、ゲル／電極複合体 4 a、4 b がそれぞれ体積変化を起こすように構成されているので、従来の、温度やイオン強度に応答して体積変化するアクチュエータのように加熱冷却装置、ポンプ、タンク等を必要とせず、装置構成を簡易かつ軽量にすることができ、また、例えば 1 ～ 3 V 程度の低電圧で動作制御をすることが可能となる。

また、ゲル／電極複合体 4 a、4 b が、酸性若しくは塩基性の官能基を有する高分子を含有した高分子ハイドロゲル 2 a、2 b と、この高分子ハイドロゲル 2 a、2 b に内設された電極 3 a、3 b とから構成されるので、どちらのゲル／電極複合体 4 a、4 b も電圧に対して同方向に膨張／収縮させることができ、ゲル／電極複合体 4 a、4 b の形状が図示するように棒状であっても、従来のように湾曲変位することなく、長さ方向の伸張／収縮変位（線方向変位）を両方のゲル／電極複合体 4 a、4 b において行うことができる。

さらに、ゲル／電極複合体 4 a、4 b が体積変化を起こしても、高分子ハイドロゲル 2 a、2 b が電極 3 a、3 b から離れることがないので、効率的に pH 変化を高分子ハイドロゲル 2 a、2 b に伝えることができ、より一層効果的に伸張／収縮を行うことができる。

よって、上述したような、ゲル／電極複合体 4 a、4 b の体積変化によって得られる線方向の伸縮を、例えばロボットの関節（可動部）等に好適に利用することが可能となる。

なお、本発明の高分子アクチュエータ 1 においては、ゲル／電極複合体 4 a、4 b を構成する電極 3 a、3 b は、高分子ハイドロゲル 2 a、2 b の体積変化を阻害せず追従する形状であることが望ましく、例えば図 1 乃至図 3 B に示すような、コイル形状が好適な例として挙げられる。この場合、コイルの弾性変形によってゲル／電極複合体 4 a、4 b の前

記体積変化に追従することができる。ここで、前記体積変化を阻害しないためには、前記コイルを形成する線は細く、しなやかであるものがより好適である。

また、本発明の高分子アクチュエータにおいては、特に、ゲル／電極
5 複合体 4 a、4 b に内设される電極 3 a、3 b が、電気化学的に水素の吸蔵及び放出が可能な材料を含む電極であるものとする。これにより、ガス発生や水消費なく高分子ハイドロゲル 2 a、2 b 内部の pH を変化させることができ、密閉したアクチュエータ素子が得られる。

電気化学的に水素の吸蔵及び放出が可能な材料としては、特に金属、
10 無機化合物、有機高分子化合物というように制約されるものではなく、従来公知の材料を適用できる。例えば、金属水素化物や、ニッケル水素二次電池の負極材料としても知られている水素吸蔵合金は、水素吸蔵量が多く好適である。これらの材料は、単体で用いる他、必要に応じて、他の材料との混合物、合金としても適用できる。

15 特に、金属水素化物を形成するパラジウム (Pd) は、電気化学的な水素の吸蔵及び放出が可能な上、他の金属水素化物や水素吸蔵合金に比べて電圧を印加した際に、酸化あるいは還元されて溶出や不動体化をしにくく、好適な材料となる。また、溶出や不動体化をしやすい水素吸蔵合金を、パラジウム等の、溶出や不動体化に対する耐性に優れ、かつ水
20 素透過性を有する材料で被覆した材料も好適なものとなる。

電解質水溶液 6 としては、公知の水溶性電解質を溶解した水溶液を適用できる。

電解質濃度が高ければイオン導電率が高くなり、高速に pH 変化を誘起できるが、浸透圧差によって高分子ハイドロゲル 2 a、2 b から電解
25 質水溶液 6 へと水が奪われることがあるため、ゲル／電極複合体 4 a、4 b の膨張が阻害されることがある。一方、電解質濃度が低ければゲル

／電極複合体 4 a、4 b の膨張は阻害されないが、高速な応答が得られなくなるおそれがある。このようなことに鑑みて、電解質水溶液 6 の電解質濃度は $0.01 \sim 0.5 \text{ mol/dm}^3$ が好適であることが確かめられた。

- 5 容器 5 は、電解質水溶液 6 を蓄える容器であり、またゲル／電極複合体 4 a、4 b の変位を力学的仕事として取り出す端子として機能するものである。

容器 5 の形状、材料は、場合に応じて適宜選定することができるが、電解質水溶液 6 を密閉することができ、かつゲル／電極複合体 4 a、4
10 b の変位を阻害しない柔軟性を有しているものであることが必要である。例えば、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリ塩化ビニル、ポリ塩化ビニリデン、フッ素樹脂等の高分子材料フィルムからなる袋状容器が好適な例として挙げられる。

ゲル／電極複合体 4 a、4 b の電極 3 a、3 b は、電極端子 7 と電気
15 的に接合されてなり、この電極端子 7 は、容器 5 の密閉性を損なわない状態で容器 5 の外部に露呈している。

容器 5 が、ゲル／電極複合体 4 a、4 b の前記体積変化に追随する伸縮性を有する場合、ゲル／電極複合体 4 a、4 b の端部を容器 5 に固定することにより、ゲル／電極複合体 4 a、4 b の変位に伴って容器 5 も
20 変形させることができるようになる。

従って、例えば容器の端部 5' を動作させたい機器可動部（図示省略）に取り付けると、力学的仕事を行うことができるようになる。

また、このゲル／電極複合体 4 a、4 b の容器 5 への固定する端部を、電極端子 7 としてもよい。

- 25 さらに、容器 5 が上述したような伸縮性を有する材料ではなくても、例えば容器端部 5' を容器本体 5 には固定せず、容器本体 5 の壁面に沿

ってスライドするような構造とすれば、容器 5 によってゲル／電極複合体 4 a、4 b の前記体積変化を阻害されるようなことが回避できる。

本発明の高分子アクチュエータにおいては、上述した複数のゲル／電極複合体を構成する高分子ゲルが、酸性の官能基と塩基性の官能基とを有する高分子を含有するものとしてもよい。

この場合、前記ゲル／電極複合体における前記高分子ゲル内部の pH が低いときには塩基性基のカチオン化によって膨張し、pH が高いときにも酸性基のアニオン化によって膨張するが、中性付近ではイオン化した両官能基がイオン結合により錯体（イオンコンプレックス）形成するため、収縮する。

この現象は、前記複数のゲル／電極複合体を構成する前記高分子ゲルが、酸性の官能基を有する高分子と、塩基性の官能基を有する高分子との混合物を含有するものとした場合においても、同様に確認された。

上述したようなゲル／電極複合体を適用することにより、中性電解液中で電極電位を卑、貴のどちらに動かしても、ゲルは膨張し、平衡電位に戻すことで収縮する。

従って、陰極用、陽極用の二種類のゲルを用いる必要がなくなり、同一構成のゲル／電極複合体の電極間に電圧を印加することで、線方向変位を前記複数のゲル／電極複合体から取り出すことが可能となる。

図 1 乃至図 3 B においては、複数のゲル／電極複合体を構成する電極として、コイル状の形状物を例示したが、本発明の高分子アクチュエータを構成する電極は、この例に限定されることなく、高分子ゲルの体積変化を阻害せず、これに追従する形状であればよく、例えば図 4 A 及び図 B に示すような網状の形状物であってもよい。図 4 A 及び図 4 B に示すように網状の形状物を用いた場合もコイル状の形状物と同様に、弾性変形によって高分子ゲルの体積変化に追従することができるが、網を形

成する線が細くしなやかであるほど、より一層好適である。

また、複数のゲル／電極複合体を構成する電極は、上記のように、コイル状や網状の形状物に限定されるものではなく、例えば、高分子ゲル内に、混合、分散される粒子状、又は繊維状の形状物であってもよい。

- 5 この場合も、上述した例と同様に、高分子ゲルの体積変化を妨げることなく、pH変化を誘起することができる。

さらに、複数のゲル／電極複合体を構成する電極として、コイル状又は網状の形状物と、粒子状又は繊維状の形状物とを併用すれば、複数のゲル／電極複合体全体に、より一層効果的にpH変化を誘起することが
10 できる。

ゲル／電極複合体を構成する高分子ゲルに適用する、酸性若しくは塩基性の官能基を有する高分子としては、酸性ではカルボン酸、スルホン酸等の官能基、塩基性では1級アミン、2級アミン、3級アミン等の官能基を有する高分子を挙げることができる。

- 15 具体的に、酸性の官能基を有する高分子としては、アクリル酸、メタクリル酸、ビニル酢酸、マレイン酸、イタコン酸、ビニルスルホン酸、スチレンスルホン酸等の重合体を挙げることができる。

また、塩基性の官能基を有する高分子としては、エチレンイミン、アリルアミン、ビニルピリジン、リジン、ビニルアニリン、ビニルイミダ
20 ゴール、アミノエチルアクリレート、メチルアミノエチルアクリレート、ジメチルアミノエチルアクリレート、エチルアミノエチルアクリレート、エチルメチルアミノエチルアクリレート、ジエチルアミノエチルアクリレート、アミノエチルメタクリレート、メチルアミノエチルメタクリレート、ジメチルアミノエチルメタクリレート、エチルアミノエチルメタ
25 クリレート、エチルメチルアミノエチルメタクリレート、ジエチルアミノエチルメタクリレート、アミノプロピルアクリレート、メチルアミノ

プロピルアクリレート、ジメチルアミノプロピルアクリレート、エチル
アミノプロピルアクリレート、エチルメチルアミノプロピルアクリレー
ト、ジエチルアミノプロピルアクリレート、アミノプロピルメタクリレ
ート、メチルアミノプロピルメタクリレート、ジメチルアミノプロピル
5 メタクリレート、エチルアミノプロピルメタクリレート、エチルメチル
アミノプロピルメタクリレート、ジエチルアミノプロピルメタクリレー
ト、ジメチルアミノエチルアクリルアミド、ジメチルアミノプロピルア
クリルアミド等の重合体を挙げるることができる。

また、必要に応じて、これらに分子内、あるいは分子間で架橋を施し
10 た高分子、これらの単量体と他の単量体との共重合体、他の高分子との
混合物を使用することができる。

また、本発明の高分子アクチュエータにおいては、ゲル／電極複合体
は、2個以上の複数個であればその個数に制約なく使用することができる。
但し、複数のゲル／電極複合体として、酸性の官能基を有する高分
15 子を含む高分子ゲルからなるゲル／電極複合体と、塩基性の官能基
を有する高分子を含む高分子ゲルからなるゲル／電極複合体とを用
いる場合には、酸性ゲル／電極複合体を陽極、塩基性ゲル／電極複合体
を陰極として電圧を印加するため、両者が同数であることがより好まし
い。

20 また、複数のゲル／電極複合体を構成する高分子ゲルが、酸性の官能
基と塩基性の官能基とを有する高分子を含むものとする場合、及びゲル
／電極複合体を構成する高分子ゲルが、酸性の官能基を有する高分子と、
塩基性の官能基を有する高分子との混合物を含むものとした場合に
も、上記と同様にして半数の電極を陽極、残り半数の電極を陰極として
25 電圧を印加するため、複数のゲル／電極複合体の総数は偶数個であるこ
とがより好ましい。

本発明に基づく高分子アクチュエータの具体的なサンプルを作製し、動作させた実施例について、以下説明する。

〔実施例 1〕

下記において、ゲル／電極複合体に適用する高分子ハイドロゲルは、
5 単量体、架橋剤、及び開始剤を水溶混合し、これをラジカル重合することによって作製するものとした。

酸性の官能基を有する高分子の単量体としてアクリル酸ナトリウム、架橋剤としてN、N'-メチレンビスアクリルアミド、開始剤として過硫酸アンモニウムをそれぞれ用意し、 $m o l$ 比で単量体：架橋剤：開始
10 剤を100：3：1として水溶混合してゲル前駆体溶液を作製した。

電極には、直径10 μm のパラジウム線からなる直径1 mmのコイルを用い、これを内径1.5 mm、長さ30 mmのガラス管内に挿入し、コイルの軸とガラス管の軸とが一致するように固定した。

このガラス管に、上述したゲル前駆体溶液を注入し、ガラス管両端を
15 ゴム栓にて封じて50℃に加温することにより、ゲル前駆体溶液のゲル化を行った。ゲル化後、ガラス管の一端を加圧して他端から取り出して水洗することにより、酸性ゲル／電極複合体（酸性の官能基を有する高分子を含有した高分子ゲルからなるゲル／電極複合体）を得た。

この酸性ゲル／電極複合体を、0.01 $m o l / d m^3$ の硝酸水溶液中
20 に浸漬し、酸性ゲル／電極複合体を収縮させた。次に、この酸性ゲル／電極複合体を0.05 $m o l / d m^3$ の硝酸ナトリウム水溶液中に浸漬し、白金対極、銀／塩化銀参照極を用いた3極式にて、酸性ゲル／電極複合体の電極に-1.0 Vの電位を印加して、酸性ゲル／電極複合体を膨張させた。

25 また、塩基性の官能基を有する高分子の単量体としてジメチルアミノエチルメタクリレート、架橋剤としてN、N'-メチレンビスアクリル

アミド、開始剤として過硫酸アンモニウムを用意し、 mol 比で単量体：
架橋剤：開始剤を $100 : 3 : 1$ として水溶混合してゲル前駆体溶液を
作製した。このゲル前駆体溶液を用い、上記の酸性ゲル／電極複合体と
同様の方法によって塩基性ゲル／電極複合体（塩基性の官能基を有する
5 高分子を含有した高分子ゲルからなるゲル／電極複合体）を得た。

この塩基性ゲル／電極複合体を、 $0.01 \text{ mol} / \text{dm}^3$ の硝酸水溶液
中に浸漬し、塩基性ゲル／電極複合体を膨張させた。

上述のようにして作製した酸性ゲル／電極複合体、及び塩基性ゲル／
電極複合体を、長さ 50 mm 、直径 6 mm の円筒状ポリエチレンフィル
10 ムに収納し、円筒状ポリエチレンフィルムの片側開口部を熱融着により
封じた。

もう一方の開口部からは、 $0.05 \text{ mol} / \text{dm}^3$ の硝酸ナトリウム水
溶液を注入し、熱融着にて封じた。なお、この熱融着の際には、ゲル／
電極複合体の両端から露呈したコイルを挟み込んで熱融着して固定し、
15 これを電極端子とした。

上述のようにして、図1乃至図2Bに示すような構成の高分子アクチ
ュエータを作製した。

上述のようにして作製した高分子アクチュエータにおいて、酸性ゲル
／電極複合体の電極端子を陽極、塩基性ゲル／電極複合体の電極端子を
20 陰極として、 2 V の電圧を印加したところ、両極のゲル／電極複合体が
共に収縮し、これに伴って高分子アクチュエータ両端の熱融着部間距離
が 45 mm から 35 mm へと変化した。

また、この際に両極のゲル／電極複合体からのガス発生は見られなか
った。

25 〔実施例2〕

この例においても、ゲル／電極複合体に用いる高分子ハイドロゲルは、

単量体、架橋剤及び開始剤を水溶混合し、ラジカル重合することによって作製した。

酸性の官能基を有する高分子の単量体としてアクリル酸ナトリウム、塩基性を示す官能基を有する高分子の単量体としてジメチルアミノエチルメタクリレート、架橋剤としてN、N'-メチレンビスアクリルアミド、開始剤として過硫酸アンモニウムを用い、m o l 比で酸性単量体：塩基性単量体：架橋剤：開始剤を50：50：3：1として水溶混合してゲル前駆体溶液とした。

電極には直径10 μ mのパラジウム線からなる直径1mmのコイルを用い、これを内径1.5mm、長さ30mmのガラス管内に挿入し、コイルの軸とガラス管の軸とが一致するように固定した。

このガラス管に上記のゲル前駆体溶液を注入し、ガラス管両端をゴム栓にて封じて50℃に加温することにより、ゲル前駆体溶液のゲル化を行った。ゲル化後、ガラス管の一端を加圧して他端から取り出して水洗することにより、両性ゲル／電極複合体（酸性の官能基と塩基性の官能基とを有する高分子を含有する高分子ゲルからなるゲル／電極複合体）を得た。

この両性ゲル／電極複合体を、0.01mol/dm³の硝酸水溶液中に浸漬し、両性ゲル／電極複合体を膨張させた。次に、この両性ゲル／電極複合体を0.05mol/dm³の硝酸ナトリウム水溶液中に浸漬し、白金対極、銀／塩化銀参照極を用いた3極式にて、両性ゲル／電極複合体の電極に-1.0Vの電位を印加して、両性ゲル／電極複合体を収縮させた。

上述のようにして作製した両性ゲル／電極複合体2本を、長さ50mm、直径6mmの円筒状ポリエチレンフィルムに収納し、円筒状ポリエチレンフィルムの片側開口部を熱融着により封じた。

もう一方の開口部からは 0.05 mol/dm^3 の硝酸ナトリウム水溶液を注入し、熱融着にて封じた。この熱融着の際に、ゲル／電極複合体の両端から露呈したコイルを挟み込んで熱融着して固定し、これを電極端子とした。

- 5 上述のようにして、図 1 乃至図 2 B に示すような構成の高分子アクチュエータを作製した。

上述のようにして作製した高分子アクチュエータにおいて、一方のゲル／電極複合体の電極端子を陽極、他方のゲル／電極複合体の電極端子を陰極として、2 V の電圧を印加したところ、両極のゲル／電極複合体
10 が共に膨張し、これに伴って高分子アクチュエータ両端の熱融着部間距離が 3.5 mm から 4.3 mm へと変化した。

また、この際に両極のゲル／電極複合体からのガス発生は見られなかった。

〔実施例 3〕

- 15 単量体（モノマー）の重量の 10 重量％に相当する Pd 粒子をゲル前駆体溶液に加えた。

その他の条件は、実施例 1 と同様として高分子アクチュエータを作製した。

- 20 酸性ゲル／電極複合体の電極端子を陽極、塩基性ゲル／電極複合体の電極端子を陰極として、2 V の電圧を印加したところ、両極のゲル／電極複合体が共に収縮し、これに伴って高分子アクチュエータ両端の熱融着部間距離が 4.5 mm から 3.1 mm へと変化した。

また、この際に両極のゲル／電極複合体からのガス発生は見られなかった。

- 25 〔比較例〕

この例においても、ゲル／電極複合体に用いる高分子ハイドロゲルは、

単量体、架橋剤及び開始剤を水溶混合し、ラジカル重合することによって作製した。

酸性の官能基を有する高分子の単量体としてアクリル酸ナトリウム、架橋剤としてN、N'－メチレンビスアクリルアミド、開始剤として過硫酸アンモニウムを用意し、これらを、m o l 比で単量体：架橋剤：開始剤を1 0 0：3：1として水溶混合してゲル前駆体溶液を作製した。

電極には直径1 0 μ mの白金線からなる直径1 m mのコイルを用い、これを内径1 . 5 m m、長さ3 0 m mのガラス管内に挿入し、コイルの軸とガラス管の軸とが一致するように固定した。

このガラス管に上記のゲル前駆体溶液を注入し、ガラス管両端をゴム栓にて封じて5 0℃に加温することにより、ゲル前駆体溶液のゲル化を行った。ゲル化後、ガラス管の一端を加圧して他端から取り出して水洗することにより、酸性ゲル／電極複合体（酸性の官能基を有する高分子を含有した高分子ゲルからなるゲル／電極複合体）を得た。

また、塩基性の官能基を有する高分子の単量体としてジメチルアミノエチルメタクリレート、架橋剤としてN、N'－メチレンビスアクリルアミド、開始剤として過硫酸アンモニウムを用い、m o l 比で単量体：架橋剤：開始剤を1 0 0：3：1として水溶混合してゲル前駆体溶液とした。

このゲル前駆体溶液を用い、上記の酸性ゲル／電極複合体と同様の方法によって塩基性ゲル／電極複合体（塩基性の官能基を有する高分子を含有した高分子ゲルからなるゲル／電極複合体）を作製した。

この塩基性ゲル／電極複合体を、0 . 0 1 m o l / d m³の硝酸水溶液中に浸漬し、塩基性ゲル／電極複合体を膨張させた。

上述のようにして作製した酸性ゲル／電極複合体及び塩基性ゲル／電極複合体を、長さ5 0 m m、直径6 m mの円筒状ポリエチレンフィルム

に収納し、円筒状ポリエチレンフィルムの片側開口部を熱融着により封じた。

もう一方の開口部からは 0.05 mol/dm^3 の硝酸ナトリウム水溶液を注入し、熱融着にて封じた。この熱融着の際に、ゲル／電極複合体の両端から露呈したコイルを挟み込んで熱融着して固定し、これを電極端子とした。

上述のようにして、図 1 乃至図 2 B に示すような高分子アクチュエータを作製した。

上述のようにして作製した高分子アクチュエータにおいて、酸性ゲル／電極複合体の電極端子を陽極とし、塩基性ゲル／電極複合体の電極端子を陰極として、2 V の電圧を印加したところ、両極のゲル／電極複合体が共に収縮し、これに伴って高分子アクチュエータ両端の熱融着部間距離が 45 mm から 41 mm へと変化した。

この際に、両極のゲル／電極複合体からガス発生が確認された。

さらに、3 V の電圧を印加したところ、高分子アクチュエータ両端の熱融着部間距離は 35 mm へと変化した。同時により多くのガス発生が確認された。

上記実施例 1 ～ 3、及び比較例から明らかなように、電気化学的に水素の吸蔵及び放出が可能な材料を含む電極を用いたことにより、ガスが発生したり、あるいは水を消費したりすることなく、ゲル／電極複合体における高分子ゲル内部の pH を変化させることができ、密閉したアクチュエータ素子において、安定した線方向における伸張／収縮状態を得ることができた。

25 産業上の利用可能性

本発明の高分子アクチュエータによれば、複数のゲル／電極複合体が

電解質水溶液中に配設され、複数のゲル／電極複合体の電極間に電圧が印加されるに伴ってゲル／電極複合体における高分子ゲル内部の pH が変化し、この pH 変化に応じて複数のゲル／電極複合体がそれぞれ体積変化を起こすように構成したので、従来の加熱冷却装置、ポンプ、タンク等を必要とせず、装置構成上、容易に軽量化を図ることができ、また、
5 例えば 1 ～ 3 V といった低い電圧で制御することが可能となった。

また、ゲル／電極複合体に内設される電極が、電気化学的に水素の吸蔵及び放出が可能な材料を含む電極であるものとしたため、電気分解反応によるガス発生が起こったり、水を消費したりすることを回避でき、
10 密閉したアクチュエータ素子を得ることができた。

さらに、複数のゲル／電極複合体が、酸性、若しくは塩基性の官能基の、少なくともいずれか一方を有する高分子を含有した高分子ゲルと、この高分子ゲルに内設された電極とから構成されているものとしたため、従来のように湾曲変位することなく、例えば生体骨格筋のように線方向
15 の、伸張／収縮が可能となった。

従って、複数のゲル／電極複合体の体積変化によって得られる線方向の伸縮を、例えばロボットの関節（可動部）等に好適に利用することができた。

請 求 の 範 囲

1. 酸性、若しくは塩基性の官能基の、少なくともいずれか一方を有する高分子を含有する高分子ゲルと、当該高分子ゲルに内設された、電気化学的に水素の吸蔵及び放出が可能な材料を含む電極とから構成されてなる、ゲル／電極複合体の複数個が、電解質水溶液中に配設されてなり、

前記複数のゲル／電極複合体の前記電極間に電圧が印加されるに伴って前記ゲル／電極複合体における前記高分子ゲル内部のpHが変化し、当該pH変化に応じて前記複数のゲル／電極複合体が、それぞれ体積変化を起こすように構成されていることを特徴とする高分子アクチュエータ。

2. 前記ゲル／電極複合体を構成する前記電極の材料が、パラジウム、あるいはパラジウムを含む合金であることを特徴とする請求項1に記載の高分子アクチュエータ。

3. 前記ゲル／電極複合体を構成する前記電極の材料が、パラジウムで被覆された水素吸蔵合金であることを特徴とする請求項1に記載の高分子アクチュエータ。

4. 前記ゲル／電極複合体を構成する前記電極が、コイル状、又は網状の形状物であることを特徴とする請求項1に記載の高分子アクチュエータ。

5. 前記ゲル／電極複合体を構成する前記電極が、粒子状又は繊維状の形状物であり、前記高分子ゲル内に混合、分散されていることを特徴とする請求項1に記載の高分子アクチュエータ。

6. 前記ゲル／電極複合体を構成する前記電極が、コイル状、又は網状の形状物と、粒子状又は繊維状の形状物とからなることを特徴とする

請求項 1 に記載の高分子アクチュエータ。

7. 酸性の官能基を有する高分子を含有した高分子ゲルからなる前記ゲル／電極複合体と、

5 塩基性の官能基を有する高分子を含有した高分子ゲルからなる前記ゲル／電極複合体とを、各々以上具備することを特徴とする請求項 1 に記載の高分子アクチュエータ。

8. 前記ゲル／電極複合体を構成する前記高分子ゲルが、酸性の官能基を有する高分子と、

10 塩基性の官能基を有する高分子との混合物を含有するものであることを特徴とする請求項 1 に記載の高分子アクチュエータ。

9. 前記複数のゲル／電極複合体が、容器内に配設されてなり、当該容器の両端から、前記電極が取り出されるようになされ、

15 前記容器内の、前記ゲル／電極複合体の周囲には、前記電解質水溶液が充填されていることを特徴とする請求項 1 に記載の高分子アクチュエータ。

10. 前記容器が、前記複数のゲル／電極複合体の体積変化に追随する伸縮性を有していることを特徴とする請求項 9 に記載の高分子アクチュエータ。

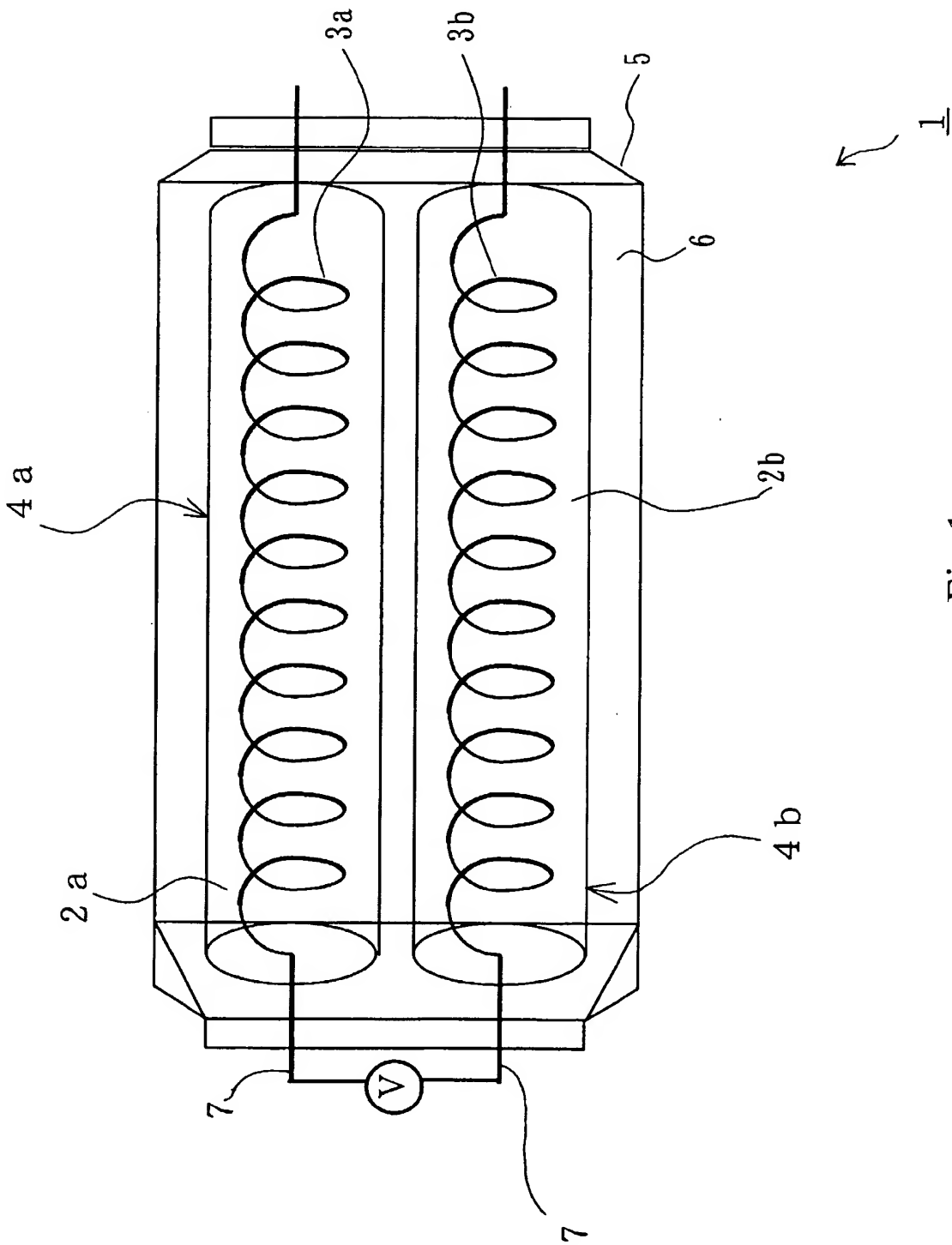


Fig.1

2/3

Fig.2A

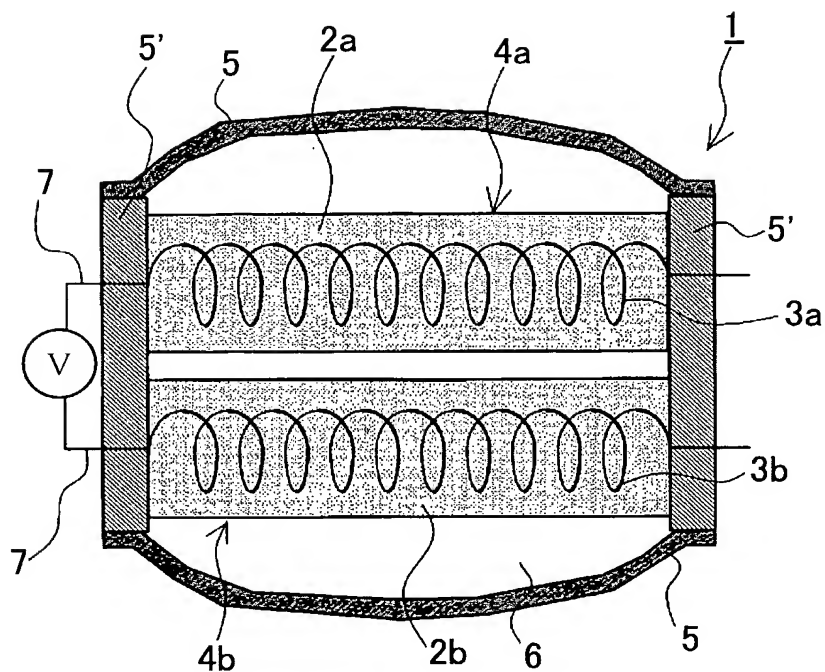
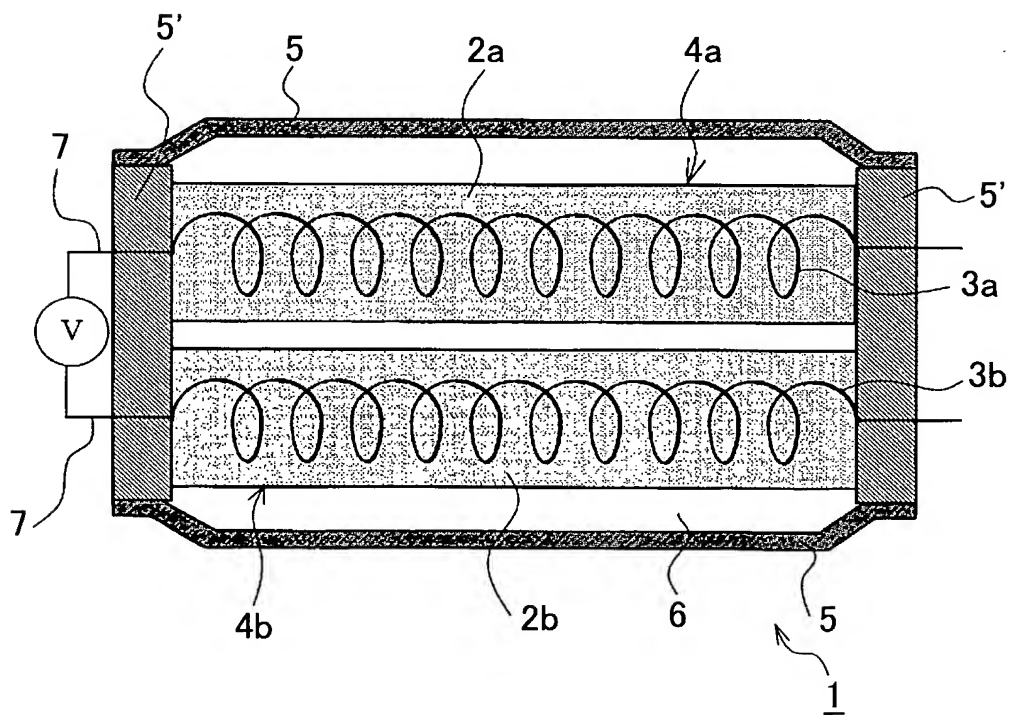


Fig.2B



3/3

Fig.3A

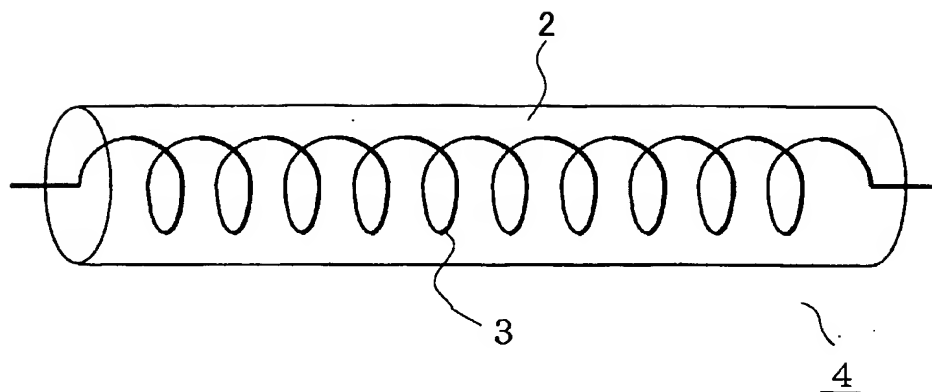


Fig.3B

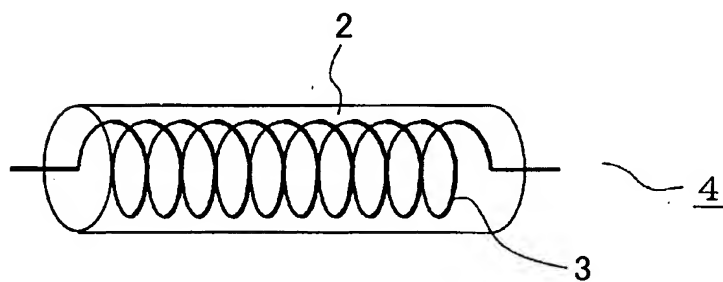


Fig.4A

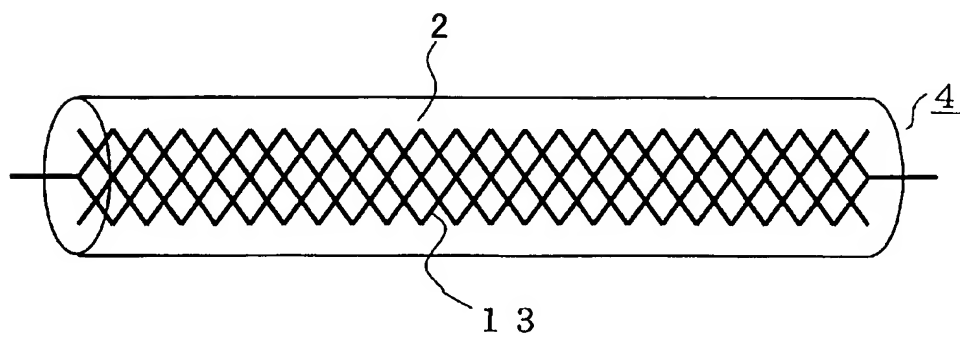
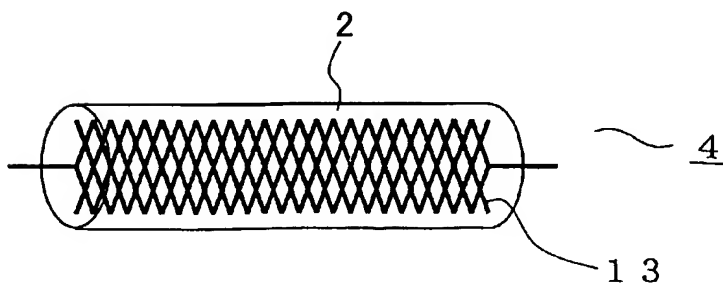


Fig.4B



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/004164

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int .Cl⁷ H02N11/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int .Cl⁷ H02N11/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2001-170884 A (Sony Corp.), 26 June, 2001 (26.06.01), & US 2001-29401 A	1-10
A	JP 8-86272 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 02 April, 1996 (02.04.96), (Family: none)	1-10
A	JP 5-184531 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 27 July, 1993 (27.07.93), (Family: none)	1-10
A	JP 6-6991 A (Director General, Agency of Industrial Science and Technology), 14 January, 1994 (14.01.94), (Family: none)	1-10

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
04 April, 2005 (04.04.05)Date of mailing of the international search report
19 April, 2005 (19.04.05)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/004164

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 5-76599 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 30 March, 1993 (30.03.93), (Family: none)	1-10

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H02N11/00

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H02N11/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P 2001-170884 A (ソニー株式会社) 2001.06.26&US 2001-29401 A	1-10
A	J P 8-86272 A (オリンパス光学工業株式会社) 1996.04.02 (ファミリーなし)	1-10
A	J P 5-184531 A (オリンパス光学工業株式会社) 1993.07.27 (ファミリーなし)	1-10
A	J P 6-6991 A (工業技術院長) 1994.01.14 (ファミリーなし)	1-10
A	J P 5-76599 A (オリンパス光学工業株式会社) 1993.03.30 (ファミリーなし)	1-10

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

04.04.2005

国際調査報告の発送日

19.4.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

千馬 隆之

3V

8009

電話番号 03-3581-1101 内線 3356